

第四版 地质工程

工程地质学基础

南京大学出版社



工程地质学基础

封面设计：吴光荣

工程地质学基础

罗国煜 李生林等 编著

南京大学出版社

1990·南京

内 容 提 要

全书对现代工程地质学的基本理论和勘测、测试技术作了较系统地论述和介绍，并以力学和地质学相结合的观点对区域稳定性、地基稳定性和环境地质等问题作了较深入的研究，同时，较全面地反映了国内外工程地质学的最新研究成果。本书特别在土结构及土分类和工程地质优势面理论和方法方面较多地反映了编著者多年来的研究成果。全书分三篇，岩石与土的工程地质研究；工程动力地质作用研究；专门工程地质研究。本书可作为从事教学、科研、生产的水文地质和工程地质工作者及大专院校有关专业的大学生、研究生和有关工程设计人员的参考书。

工程地质学基础

罗国煜 李生林等 编著

*

南京大学出版社出版
(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 丹阳市新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 32.75 字数 814 千

1990年11月第1版 1990年11月第1次印刷

印数 1—2000

*

ISBN 7-305-00661-0

P·45 定价：6.80元

前 言

工程地质学基础是综合性大学水文地质及工程地质专业和工科院校有关专业的一门主要基础课。当前工程规模向高、重、大，地下工程向长、大、深、群方向发展，对工程地质研究的三个基本问题，即区域稳定性、地基稳定性和环境地质影响等问题的评价要求越来越高。实践要求地质机制分析与定量模型评价、宏观研究和微观研究，以及内动力与外动力密切结合起来，以便更好地解决四化建设中的工程地质问题。

根据当代工程地质学面临的基本课题，我们编著了这本教材。全书分三篇：岩石与土的工程地质研究；工程动力地质作用研究(含地质灾害)；专门工程地质研究。三部分教材内容充分体现了上述现代工程地质的研究原则和要求，特别是在岩土分类、土的组织结构和工程地质优势面分析理论与方法方面较多地反映了编著者多年来的研究成果，为本书增加了特色。

本书由罗国煜、李生林主编，各章节编著者是：罗国煜——前言，五、十一、十二、十五、十七章；李生林——绪论，六、七、八、十三、十四、十六章；秦素娟——一、四、十章；薄遵昭——二、三、九章；王培清——十八章。书稿内容由罗国煜、李生林修改定稿。闫长虹、秦素娟、吴浩等在本书定稿过程中做了大量的具体工作，对确保本书出版质量作出了贡献。

本书部分图件由高秀英清绘。

编著者对所有关心本书出版的领导和给予各方面帮助的同志表示诚挚的谢意。由于本书内容广泛，编著者较多，在内容、文字和图件方面，不当之处在所难免，盼望同行和读者帮助指正。

编 著 者

1990.1

目 录

绪论	1
一、工程地质学及其任务	1
二、工程地质学的分科及与其他学科的关系	2
三、工程地质学与地质环境的合理利用与保护	6
第一篇 岩石与土的工程地质性质的研究	
第一章 土的物质组成成分	11
第一节 土的基本特征	11
第二节 土的粒度组成成分	13
一、粒组及其划分方案	13
二、粒度分析方法	14
三、团粒成分	18
四、土按粒度成分的分类	18
第三节 土的矿物组成成分	19
一、土中常见矿物及其特点	19
二、粘土矿物的晶体结构及其基本特征	22
第四节 土中的水	28
一、土中的水及其基本类型	28
二、土中的结合水	29
三、毛细管水	32
四、自由水	33
第五节 土中的气体	33
一、土中气体的特点及其基本类型	33
二、吸附气体与溶解气体	33
三、自由气体与密闭气体	35
第六节 土粒与水相互作用	36
一、粘粒的双电层及其影响因素	36
二、粘性土中的离子交换	39
三、粘性土的胶体化学特性及其工程地质意义	41
第二章 土的组织结构	44
第一节 关于土结构的现代认识	44
一、土结构的涵义	44
二、结构单元体	44
三、结构等级	45

第二节 土结构的形态学及几何学特征	46
一、土结构的形态学特征	46
二、土结构的几何学特征	47
三、孔隙特征	48
第三节 土结构的能量学特征	49
一、粒间作用力	49
二、接触类型	50
第四节 粘性土的微结构模型	51
第五节 粘性土微结构研究方法	53
一、粘性土微结构研究内容及主要方法概述	53
二、粘性土微结构研究样品的制备	54
第三章 土的物理、水理性质	57
第一节 土的基本物理性质	57
一、直接测定土的基本物理性质指标	57
二、计算求得土的基本物理性质指标	58
三、松散土基本物理性质指标之间的关系	60
第二节 粘性土的水理性质	61
一、粘性土的稠度和塑性	61
二、粘性土的膨胀、收缩和崩解	65
第四章 土的力学性质	69
第一节 基本概念	69
一、土的变形与强度	69
二、土的渗透性	70
第二节 土的压缩性	71
一、土体压缩的实质及特点	71
二、土的压缩与压缩曲线	71
三、土的压缩性指标	74
四、土的固结	78
五、影响土压缩性的主要因素	81
第三节 土的抗剪强度	82
一、土的抗剪强度与库仑定律	82
二、直接剪切试验与三轴剪切试验	84
三、粗粒土的抗剪强度	87
四、粘性土的抗剪强度	90
第四节 土的流变特性与动力特性	94
一、土的流变特性	94
二、土的动力特性	97
第五章 岩体的工程地质研究	100
第一节 岩石和岩体的基本特性	100
第二节 岩石的密度性质	101
第三节 岩石和岩体的力学性质	105
一、岩石的变形	105

二、岩石的强度	113
三、岩石的流变特性	117
四、岩体破坏形式和机制	119
第四节 岩体工程地质研究基本概念和要点	121
一、岩体工程地质背景研究	122
二、岩体结构特性和岩体质量的研究	122
三、软弱夹层和风化岩的研究	126
四、岩体稳定性评价思路	130
第六章 土体的工程地质研究	133
第一节 土体及其基本类型	133
一、关于土体的定义	133
二、土体结构	134
三、土体的类型	134
第二节 土体工程地质性质形成的因素	135
一、土体的成因	135
二、土体的物质组成与结构构造	137
第三节 土体稳定破坏的因素	139
一、土体的宏观结构面	139
二、水文气象因素	140
三、地下水	140
四、人类的工程经济活动	141
第四节 土体工程地质研究方法	141
第五节 土体主要成因类型的基本特征	143
第七章 岩土工程地质分类	149
第一节 岩土工程地质分类的基本类型及其意义	149
第二节 岩土普通工程地质分类简介	150
一、分类标准	150
二、B. Д. 罗姆塔泽分类(1972)简介	150
三、各类岩土的基本特征及主要工程地质问题和研究方法	151
第三节 土质分类	155
一、国外土质分类近况	155
二、我国土质分类中存在的问题	156
三、我国统一土质分类体系与方案	157
四、我国统一土质分类体系与方案的确定	160

第二篇 工程动力地质作用的工程地质研究

第八章 工程动力地质作用研究导论	164
第一节 工程动力地质作用及其分类	164
第二节 工程地质作用及其特点	166
一、工程地质作用及其简明分类	166
二、工程地质作用的基本特征	168

第三节	工程动力地质作用的基本研究内容及研究课题	169
第四节	研究工程动力地质作用的原则及方法	169
一、	充分掌握工程动力地质作用发生发展的条件	169
二、	确切认识工程动力地质作用发展的影响因素	170
三、	防治工程动力地质作用的原则	171
四、	工程动力地质作用的主要研究方法	171
第九章	地表水作用的工程地质研究	173
第一节	河流作用的工程地质研究	173
一、	河水动力学特征	173
二、	河流的地质作用	175
三、	河流作用的影响因素及其研究要点	179
四、	河流地质作用的治理	180
第二节	泥石流	182
一、	泥石流及其种类	182
二、	泥石流的形成条件及分布规律	184
三、	泥石流的防治	185
四、	泥石流的勘察、观测与计算	186
第三节	海洋作用的工程地质研究	189
一、	海岸的基本概念及其研究意义	189
二、	海岸带的水动力因素	190
三、	海岸及海岸作用	193
四、	海岸及沿岸建筑物的保护方法	199
五、	海岸工程地质研究的一般原则	201
第十章	岩溶(喀斯特)的工程地质研究	202
第一节	基本概念及研究意义	202
一、	岩溶、岩溶作用与岩溶现象	202
二、	溶蚀作用与混合溶蚀作用	202
三、	岩溶工程地质研究的意义	204
第二节	岩溶发育的条件及一般规律	205
一、	岩溶发育的基本条件	205
二、	影响岩溶发育的主要因素	205
三、	岩溶发育规律	209
四、	深部岩溶与古岩溶	210
五、	岩溶发育的阶段性及发展历史	211
第三节	岩溶区主要工程地质问题	212
一、	岩溶地基的稳定性及塌陷问题	212
二、	天然洞室的稳定性问题	213
三、	岩溶渗漏问题	216
四、	岩溶突水与地下水开发利用问题	218
第四节	岩溶工程地质勘测	219
一、	岩溶工程地质勘测内容	219
二、	岩溶工程地质勘测方法	220
第十一章	边坡稳定性的工程地质研究	222

第一节 边坡地质作用的基本类型	222
第二节 滑坡作用及其工程地质勘测方法	223
一、滑坡的形态及其结构特征	223
二、影响斜坡滑动稳定性的因素	226
三、滑坡的发育阶段和滑坡分类	227
四、滑坡的工程地质勘测方法	228
第三节 斜坡稳定性评价	232
一、一般地质分析法	232
二、力学计算法	233
三、岩坡稳定性分析的有限单元法	240
第四节 岩坡优势面分析理论与方法	250
一、基本思路	250
二、优势面控坡观点	251
三、优势面分析方法	251
四、岩坡的优势面评价观点	253
五、当前优势面理论研究之方向	255
第五节 滑坡的防治	256
一、排水	257
二、改变斜坡力学平衡条件	258
三、改变滑带土性质的办法	259
第十二章 区域稳定性和地震的工程地质研究	261
第一节 区域稳定性与地震的基本概念	261
一、区域稳定性的概念及研究思路	261
二、地震的基本概念及其力学机制	262
第二节 活动断层的工程地质研究	265
一、活动断层特性	265
二、活动断层判别标志	268
三、活动断层的活动年代及活动速率测定	270
四、中国活动断层分布规律	271
五、活动断层的调查研究方法	272
六、优势活动性断裂的确定	274
第三节 地震工程地质研究	275
一、地震基本烈度研究	275
二、地震地面反应分析方法	279
三、地震概率分析方法	282
四、砂基液化问题	282
第四节 区域稳定性综合评价	289
一、区域稳定性评价的一般原则和概念	289
二、区域稳定性评价	289
第十三章 几种工程地质作用的研究	293
第一节 大城市地区地面沉降问题	293
一、地面沉降及其危害	293
二、地面沉降的原因	295

三、控制地面沉降的理论与方法	297
第二节 水库诱发地震	297
一、水库地震及其特点	297
二、水库地震发生条件及其诱发机制	300
三、水库地震问题研究方法	301
第三节 岩溶(喀斯特)区的地面塌陷问题	302
一、塌陷区地面变形的特点	302
二、塌陷的成因类型	303
三、地面塌陷的分布规律	305
四、地面塌陷的预测与防治	308

第三篇 专门工程地质研究

第十四章 工程地质勘察	311
第一节 工程地质勘察的基本原则与方法	311
一、工程地质勘察的基本原则	311
二、工程地质勘察的基本方法及其合理选择与综合使用	313
第二节 工程地质测绘	314
一、工程地质测绘及其主要内容	314
二、工程地质测绘中对岩土和构造的研究要点	316
三、工程地质测绘的比例尺、精度和范围	319
四、遥感技术在工程地质测绘中的应用	320
第三节 工程地质勘探工作	325
一、工程地质勘探的任务、手段及其合理选择	325
二、工程地质钻探	327
三、工程地质钻探机械及其选择	328
四、钻进过程中的工程地质编录	329
第四节 工程地质现场试验	330
一、静力载荷试验	330
二、旁压试验	333
三、静力触探与动力触探	334
四、松软土野外剪切实验	342
五、基岩弹性模量的野外现场试验	343
六、基岩抗剪强度的野外试验	345
第五节 工程地质图与工程地质勘察报告	346
一、工程地质图	346
二、普通工程地质图的编绘方法	347
三、工程地质勘测报告书	348
第十五章 城市建设的工程地质勘测	350
第一节 城市建设的特点及主要工程地质问题	350
一、城市建设的设计阶段和相应的勘测要求	350
二、城市建筑物的类别	350
三、地基与基础的概念	351

四、地基主要工程地质问题	355
第二节 地基强度与变形问题之分析	356
一、地基中应力与极限平衡概念	356
二、地基中应力分布	363
三、基础底面应力分布	373
四、地基的强度	374
五、地基的沉降变形	379
第三节 城市及工业、民用建筑的工程地质勘测	394
一、勘测要点及方法	394
二、地区工程地质条件评价与地基承载力的确定	397
三、地基稳定性的概率分析法	403
第四节 地基改良及加固方法	406
第十六章 铁路、公路的工程地质勘察	411
第一节 路基及其工程地质勘察	411
一、路基及其主要工程地质问题	411
二、路堑建设中的工程地质问题	412
三、路堤建设中的工程地质问题	416
四、路基工程地质勘测要点	421
第二节 隧道工程地质勘察	423
一、隧道工程的特点及其主要工程地质问题	423
二、隧道(地下洞室)山岩压力的研究	425
三、围岩稳定性分类及其在解决隧道衬砌中的应用	426
四、隧道涌水及洞口稳定问题的研究	429
五、隧道工程地质勘测要点	431
第三节 桥梁工程的工程地质勘察	435
一、桥梁工程及桥址选择	435
二、墩、台基础型式与地质条件特征	437
三、桥梁建设中的主要工程地质问题	438
四、桥梁工程地质勘测要点	440
第十七章 水电建设的工程地质勘测	443
第一节 水电建设的特点及工程地质勘测	443
一、水利枢纽与水电建设	443
二、水利水电建设勘测设计阶段与流域规划研究的重要性	444
第二节 坝址区工程地质研究	446
一、坝的主要类型及其对工程地质条件的要求	446
二、坝址区的主要工程地质问题及其研究方法	451
三、坝址区岩体力学试验指标的选择和确定	466
第三节 水库区工程地质研究	475
一、水库的渗漏问题	475
二、水库岸边浸没问题	478
三、水库坍岸问题(水库库岸演变)	483
四、水库淤积和固体径流来源问题	487

五、水库区工程地质勘测	488
第十八章 天然建筑材料工程地质勘察	489
第一节 概述	489
第二节 天然建筑材料的勘察	490
一、各设计阶段天然建筑材料勘察的要求	490
二、建筑材料产地勘探和取样试验	491
第三节 天然建筑材料质量要求	495
一、砂砾料质量要求	495
二、土料质量技术要求	498
三、石料质量技术要求	499
第四节 建筑材料的综合评价	499
一、建筑材料的储量计算	499
二、天然建材的质量评定	500
三、开采运输条件	500
四、保护环境严禁在风景区开采建筑材料	501
主要参考文献	501
关键词	504

人

绪 论

一、工程地质学及其任务

工程地质学是地质学的一个分支,是调查、研究、解决与兴建各类工程建筑有关的地质问题的科学。

工程地质学现阶段的主要理论和实践任务是:①研究人类在上地壳的活动这一强大的地质因素;②评价工程地质条件,论证地上、地下建筑工程兴建和营运的技术可能性和经济合理性,选定布置建筑工程的地点、基础结构型式和决定施工方法,保证合理设计,顺利施工;③以定量形式提出地质条件与工程建筑相互作用的空间、时间、强度的预报;④制定控制自然地质作用和工程地质作用即地质灾害的方法和危险后果的措施,其中包括加固岩土体和地下水斗争的措施,保证工程建筑安全营运;⑤进行地区和岩、土体的专门分类和分区,为国民经济规划布局和地质环境的合理利用与保护提供科学依据。

工程地质条件指的是工程建筑地区地质环境全部要素的总含,其主要者有:①土和岩石、岩、土体、岩土层、透镜体、软弱带和接触带,它们的成因、物质组成、时代、产状、岩性;成岩和变质作用的程度;物理-力学性质(强度、变形)等等。②决定岩、土存在形式的地质构造-褶皱和新老断层的发育程度、产状与性质;构造破碎带充填物特性;切割岩、土体的裂隙,它们的成因和分布;岩层的风化性、疏松性、淋蚀性。③岩、土体的天然应力状态——岩、土体与地质环境要素相互作用时的应力状态。④地下水是一个重要的工程地质因素,包括承压水、潜水、它们的分布、动态和化学性质。⑤地貌条件——地貌形态的成因和时代;反映最新地质构造运动和水文气象因素特点的地形;地形地貌是工程地质分区的特征之一。⑥地质作用和现象——它综合反映上地壳的当代地质历程,亦即反映上地壳的动力学特征,对评价和预测工程地质条件的意义重大。

工程地质条件在建筑物的施工和营运过程中,在人类活动影响下将产生各种作用和变化。由自然因素引起的,但受人类工程建筑活动改造过的,以及在人类活动影响下所产生的现代地质作用和现象谓之“工程地质作用和现象”。与自然地质作用相比,工程地质作用具有发育强度大,分布面积小等特点。典型的实例是建筑物地基的压密、水库岸边再造、矿坑边帮上的滑坡等等。几乎是各类自然地质作用均有与其相似的工程地质作用,往往造成人为地质灾害。

工程地质学在国民经济建设中的作用是十分重要的。工程地质勘察工作做得好,设计、施工就顺利,工程建筑的安全营运就有保证。我国政府规定:没有勘察,不能设计,没有设计,不能施工。工程地质勘察工作在建设事业中的重要地位是充分肯定的。

历史的经验证明,工程建设不怕地质条件复杂,怕的是复杂的地质条件没有被认识。有时,看来问题虽小,但由于没有被发现,却为工程留下了隐患,给施工带来麻烦或是需要修改设计;有的在工程使用期中造成事故,甚至是酿成灾害。这样的事例是很多的,现在让我们回忆一下1959年法国马尔巴塞坝和1963年意大利瓦依昂坝失事的教训就够了。马尔巴塞坝为拱

坝,坝高 66.5 m,修筑在构造破碎、裂隙发育的石炭-二叠纪的坚硬岩石和流纹岩上,渗透与扬压力促使左岸岩体产生一系列剪切位移,最后导致大坝破坏失事, $25 \times 10^8 \text{m}^3$ 的库水一泻而空。据 L. 缪勒报导(1964), 瓦依昂河谷边坡于 1960 年就开始变形,至 1963 年 10 月 9 日 $2.5 \times 10^8 \text{m}^3$ 的滑体骤然下滑,拥塞水库,掀起 70m 厚的水体超过 265m 高的拱坝。倾泄而下,毁掉了四个村庄,死亡 2 000 多人,酿成了一次罕见的灾难性事故。伊拉克在修筑 110 m 高的德康水坝时也曾遇到了很大的麻烦。该坝兴建于强烈喀斯特化的石灰岩和白云岩上,岩层断裂褶皱发育。在河谷左右两岸,在坝肩处曾修筑了 1 033m 和 1 300 m 长的防渗帷幕,共消耗水泥 45 000 t。此外,在坝段上还钻进了 2 800 m 长的灌浆钻孔,耗用水泥浆 1 707 t,加固了 $57.5 \times 10^4 \text{m}^3$ 的岩体。

这些事例说明,如果不重视工程地质勘察,对工程地质条件没有搞清楚,不仅能造成人力、物力和时间上的损失,而且还可能造成重大的灾难性事故。历史经验说明,必须充分认识工程地质学在国民经济建设事业中的重要作用。

二、工程地质学的分科及与其他学科的关系

工程地质学是在地质学与工程建筑学、矿山工程学的边缘上形成和发展起来的学科,它与许多自然学科和技术学科具有紧密联系。工程地质学通过分化、综合过程的影响已成为一门包括有数个分科的学科。工程地质学的分科及与其他学科的关系如绪图 1 所示。

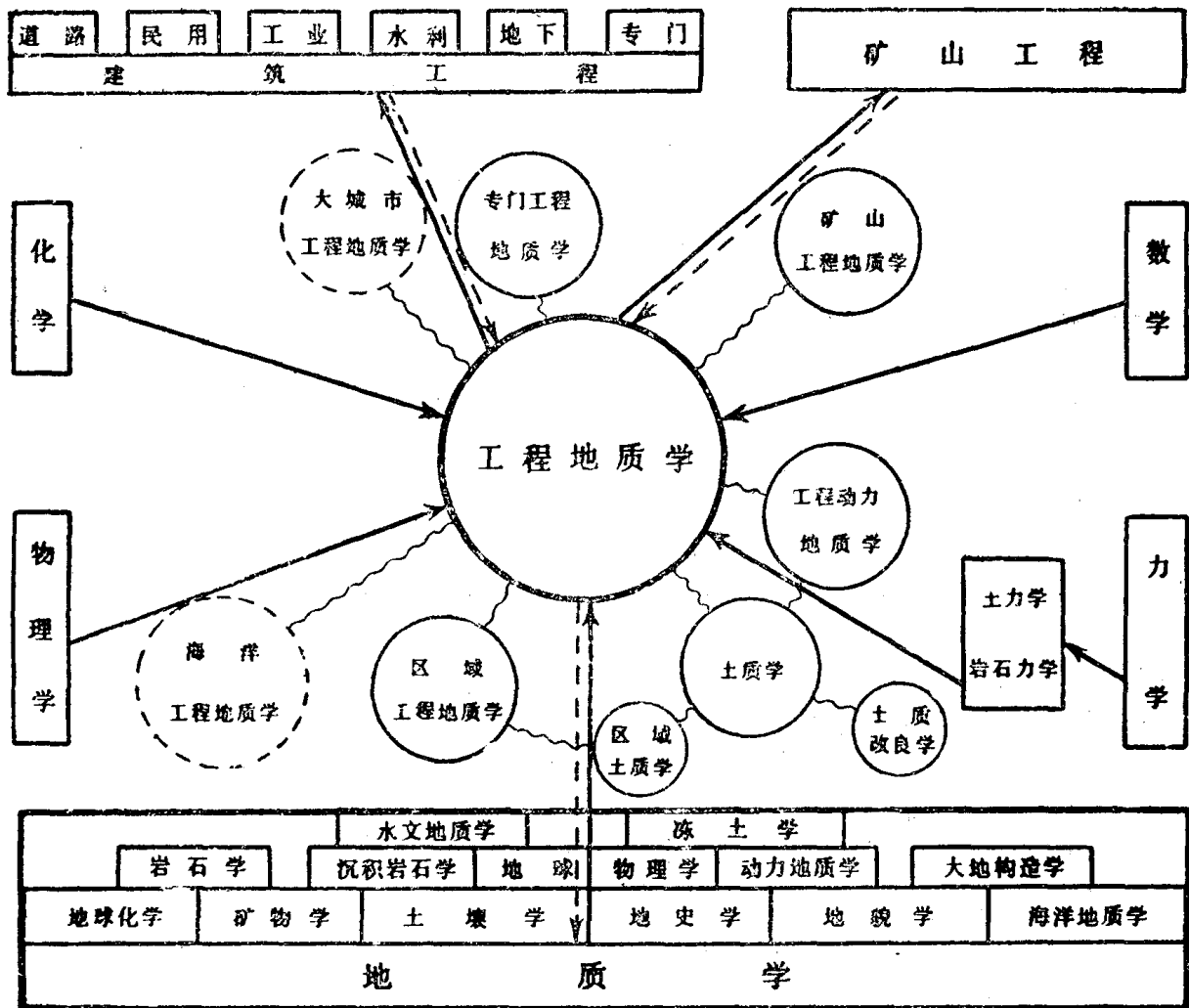
地史学、岩石学、沉积岩石学以及构造(包括新构造)地质学是工程地质学的地质学基础。几乎在所有勘察阶段的工程地质研究任务中都包括有岩石学、沉积岩石学、构造断裂以及岩、土体节理裂隙发育特征的详细研究,这些研究是工程地质学评价预测工程地质条件的基础。当然,工程地质学研究的详细资料也反过来丰富和发展了这些基础学科。

研究地壳动力学在区域历史背景上形成的地史学、动力地质学和地貌学的资料对分析地区工程地质条件是十分重要,它们与工程地质学相互联系可给出地区评价的背景特征。

物理化学,特别是胶体化学有关水溶液的学说,物理学中各类介质的力学理论对工程地质学有很大意义。粘土中的吸附与交换,可溶岩中的溶滤作用,在力作用下不同介质的强度、变形规律等方面的研究成果对工程地质的影响颇大。在研究工程地质问题时,运用这些学科中的方法有助于揭示它们的本质。

建筑工程、矿山工程等技术与工程地质学的联系更是多种多样。工程地质学在选择建筑场地,决定建筑结构型式,以及保证其顺利施工,安全营运等方面将起决定性作用。现在在解决一切建筑工程的设计和施工,以及解决地质环境的合理利用与保护等问题时,都要求有相应的地质论证。

工程地质学与水文地质学的关系尤为密切,这不仅是因为它们曾在长时期里是作为一门专业而发展,而且还因为地下水是评价工程地质条件和预测其变化的一个重要因素。有关地下水动力学及动态的学说,渗流对不均匀土层作用的力学分析,以及它们在化学潜蚀中的作用,对于工程地质都是十分重要的。兴建水库后地下水位的壅高、工业和生活污水的乱排乱放引起地下工程或某一地区浸没等也都是不容忽视的工程地质问题。地下水位动态的变化和岩层充水程度的改变极强烈地影响了其强度的变化,同时也促进了风化,喀斯特和滑坡作用的积极发育。地下水位与岩层充水程度的变化是受地区气候条件决定。因此,工程地质学又在某种程度上与气候学存在着一定的联系。



绪图 1 工程地质学的分科及其与其他学科的关系图
(据E.M. 谢尔盖耶夫修改补充)

为定量评价岩、土变形和各种地质作用的需要,就必须具备有数学、力学等方面的知识。特别是土力学,岩石力学等学科,对研究岩、土体的应力和变形更是必不可少的手段。工程地质学、土力学和岩石力学,它们是相互联系,相互渗透,彼此促进,共同发展的。

如绪图 1 所示,现代工程地质学的分科如下:

(一) 土质学(工程岩土学)

“高楼万丈平地起”。地球上的任何建筑工程都不能离开土和岩石,或是用做地基和围岩介质,或是用做建筑材料。因此,对构成建筑区的土和岩石进行工程地质研究早已形成一门独立的理论分科。研究的重点是探索岩土工程地质性质的形成,制定岩土工程地质分类和提出改良岩土建筑性能的技术方法。目前在土质学中又分出了两个小的分支——区域土质学和土质改良学。区域土质学侧重于研究各类土在空间的分布规律,它既是区域工程地质学的一部分又是土质学的一部分。区域土质学是联结土质学和区域工程地质学的纽带。土质改良学是土质学探索改良土质性能的理论与实践的分支。

(二) 工程动力地质学

地壳表层上的土和岩石并不是处于静止不动的状态,而是经常地产生崩塌、滑坡、泥石流